

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОНАЛЬНЫХ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ С КODOVЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ ПУТЕВЫХ УЧАСТКОВ

Гончаров К.В.

INVESTIGATION OF THE TONAL RAIL CIRCUITS WITH CODE DIVISION OF TRACK SECTIONS

Honcharov K.V.

В работе приведены результаты исследования тональных рельсовых цепей с дополнительным кодированием. Показано, что переход от периодических модулирующих сигналов к кодовым сигналам позволит повысить помехоустойчивость рельсовой цепи за счет увеличения количества селективных признаков сигнального тока. Для формирования рабочих комбинаций был выбран шестиразрядный код Хемминга, позволяющий обнаружить два ошибочных символа в сообщении. Проведенное имитационное моделирование показало, что посимвольный корреляционный прием сообщений обеспечивает лучшую помехозащищенность по сравнению с корреляционным приемом сообщения в целом.

Ключевые слова: тональная рельсовая цепь, помехоустойчивость, кодирование, корреляционный прием.

Постановка проблемы. Рельсовые цепи (РЦ) выполняют ответственные функции контроля свободности путевых участков и целостности рельсовых линий. Кроме этого, рельсовая цепь используется в качестве телемеханического канала для передачи сигналов автоматической локомотивной сигнализации (АЛС), а также для установления бесперебойной логической связи между смежными сигнальными точками автоматической блокировки.

Передающая аппаратура РЦ формирует сигнал контроля с определенными селективными признаками, который через рельсовую линию, а также устройства защиты и согласования поступает на вход путевого приемника. При занятии поездом контролируемого участка, а также при разрушении рельсовой линии уровень сигнала на входе путевого приемника существенно уменьшается, что фиксируется решающим элементом приемника. Рельсовые цепи эксплуатируются в условиях воздействия различных помех, источниками которых являются тяговая сеть, смежные РЦ, сигналы АЛС и др. Кроме этого, на работу рельсовых цепей заметное влияние оказывают флуктуации сопротивления балласта, что

приводит к изменению уровня сигнала контроля рельсовой линии (КРЛ). Таким образом, путевого приемник РЦ решает задачу обнаружения на фоне помех квазидетерминированного сигнала КРЛ (форма сигнала известна, а амплитуда является случайной величиной). При этом могут возникать ошибки двух видов: необнаружение поездного шунта или разрушения рельса в пределах рельсовой линии и ложное обнаружение шунта или разрушения при их отсутствии.

Ошибки первого рода являются опасными, так как могут привести к столкновению или сходу поездов. Ошибки второго рода являются неопасными и приводят к задержке поездов. Таким образом, от помехоустойчивости рельсовых цепей во многом зависит их функциональная безопасность, а, следовательно, и безопасность движения поездов.

В настоящее время на сети железных дорог Украины достаточно широко применяются тональные рельсовые цепи (ТРЦ), которые позволяют исключить одни из самых ненадежных элементов РЦ – изолирующие стыки. Благодаря этому, появляется возможность применения цельносварных рельсовых плетей, обеспечивается электрическая непрерывность цепи возврата тягового тока, сокращается число используемых дросселей-трансформаторов [1, 2]. Для исключения взаимного влияния в смежных ТРЦ используются амплитудно-манипулированные сигналы КРЛ с различными несущими и модулирующими частотами. Так в тональных рельсовых цепях третьего поколения (ТРЦ3) применяются пять несущих частот (420 Гц, 480 Гц, 580 Гц, 720 Гц, 780 Гц) и две модулирующие частоты (8 Гц, 12 Гц), что позволяет получить десять различных сигналов КРЛ.

В существующих ТРЦ применяется наименее помехоустойчивая амплитудная манипуляция сигнального тока с периодическим модулирующим сигналом [1, 2]. Это обусловлено, прежде всего,

простотой реализации такой модуляции при использовании аналоговых технических средств. Применение современных микроселектронных цифровых средств (сигнальных процессоров, микроконтроллеров, программируемых логических матриц) для построения передающей и приемной аппаратуры рельсовых цепей позволяет использовать более информативные формы сигналов КРЛ и более совершенные методы их обработки.

Анализ последних исследований и публикаций. В работе [3] предлагаются следующие направления повышения функциональной безопасности рельсовых цепей: 1) применение более помехоустойчивой манипуляции (частотной или фазоразностной); 2) использование кодовых модулирующих сигналов; 3) усовершенствование методов обнаружения сигналов КРЛ. Рассмотрим более детально второе направление. Переход от периодических модулирующих сигналов к кодовым позволит повысить информационную избыточность сигнала КРЛ: кроме частотных селективных признаков появляются кодовые признаки. Благодаря этому, повышается вероятность правильного обнаружения такого сигнала на фоне помех. Кодирование сигналов КРЛ позволяет также реализовать дополнительное кодовое разделение смежных рельсовых цепей.

В работе [4] также предлагается использовать одновременно частотный и кодовый признаки для разделения каналов, что позволит организовать до 120 независимых рельсовых цепей. Однако автор данной работы не обосновал выбор числа рабочих кодовых комбинаций, а также методов кодирования сигнального тока. Кроме этого, требуют дальнейшего исследования вопросы демодуляции кодовых сигналов контроля рельсовой линии.

Целью данной работы является исследование тональных рельсовых цепей с кодовым разделением путей участков, поиск более помехоустойчивых методов обнаружения сигналов контроля рельсовой линии.

Изложение основного материала и результаты исследований. Рассмотрим принцип построения ТРЦ с кодовым разделением путей участков (рис. 1). В таких рельсовых цепях вместо периодических модулирующих сигналов применяются кодовые сигналы. Благодаря этому, повышается информационная избыточность сигнального тока, что позволяет не только повысить защищенность от сигналов смежных РЦ, но и сократить количество несущих частот.

Путевой генератор Г1 вырабатывает сигнал КРЛ с несущей частотой F1 и первой кодовой комбинацией, который через кабельную линию, а также через устройства согласования и защиты (УСЗ) поступает в рельсовую цепь 1. Генератор Г2/3 формирует сигнал с частотой F2 и второй кодовой комбинацией, который передается в рельсовые цепи 2 и 3. От генератора Г4/5 питаются рельсовые цепи 4 и 5 (частота F1, код 3), а от генератора Г6/7 – рельсовые цепи 6 и 7 (частота F2, код 1). Путевые приемники ПП1 – ПП6 подключаются к общей точке релейных концов РЦ. Приемники обладают свойствами частотной и кодовой селекции, а также пороговыми свойствами. В нормальном режиме работы РЦ путевые реле на выходах приемников находятся под током. При нахождении подвижной единицы (или изломе рельса), например, на участке 4П путевого приемника ПП4 выключает реле ПР4. Срабатывание приемника ПП4 от сигнала рельсовой цепи 3П исключается, так как он имеет другую несущую частоту и другую кодовую комбинацию. Исключается также возможность срабатывания этого приемника от сигнала частоты F1 рельсовой цепи 1П из-за естественного затухания этого сигнала в рельсовой линии на протяжении трех РЦ (1, 2 и 3), а также из-за различия кодовых комбинаций рельсовых цепей 1П и 4П. В рассмотренном примере применяются две несущие частоты и три кодовые комбинации. Это позволяет получить шесть различных рельсовых цепей.

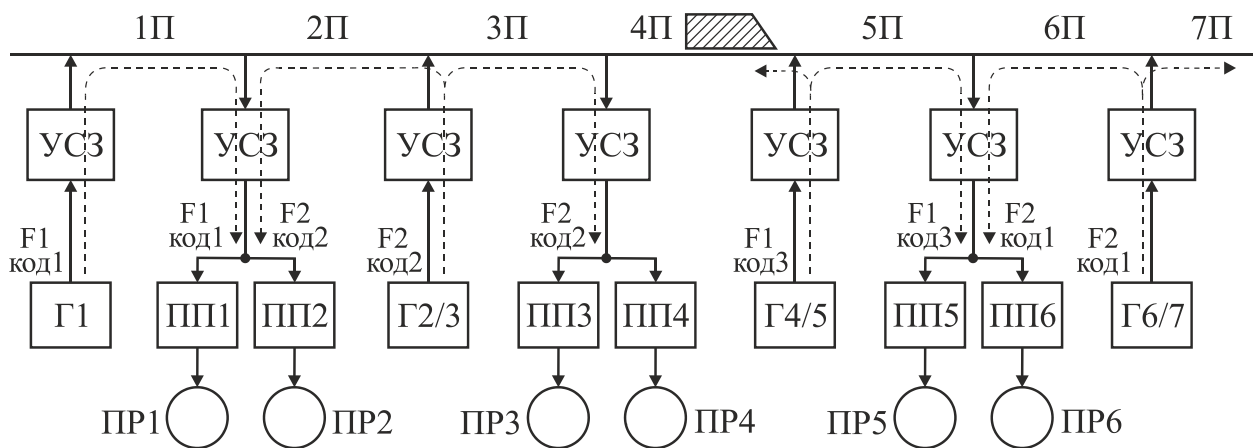


Рис. 1. Принцип построения тональных рельсовых цепей с кодовым разделением путей участков

При проектировании ТРЦ рельсовые цепи с одинаковыми частотами могут повторяться при расстоянии более 2 км от питающего конца одной цепи до приемного конца другой [2]. Поэтому при малой длине РЦ 2П, 3П и высоком уровне сигнала в 1П необходимо выполнять чередование трех несущих частот.

Для рельсовых цепей четного и нечетного путей можно применять разные кодовые комбинации. Таким образом, в рельсовых цепях с кодовым разделением путевых участков необходимо не менее шести различных кодовых комбинаций. Это позволит использовать только одну модулирующую частоту для всех РЦ.

Для передачи шести различных сообщений кодовая комбинация должна содержать три информационных двоичных элемента. Обеспечить помехоустойчивость сообщений можно, добавив к информационной части проверочные элементы. Пусть m – число информационных элементов, n – общее число элементов в сообщении (разрядность кода), $k = n - m$ – число избыточных (проверочных) элементов. Тогда из 2^n возможных вариантов сообщения только 2^m кодовых комбинаций являются разрешенными или рабочими. Чем больше кодовое расстояние (d) между рабочими комбинациями, тем выше помехоустойчивость. Корректирующий код позволяет обнаружить r ошибок, если минимальное кодовое расстояние $d_{\min} \geq r + 1$ [5].

Минимально необходимое число проверочных элементов можно найти с помощью границы Варшавова-Гилберта [5]

$$k_{\min} \geq \log_2 \left(1 + \sum_{i=1}^{d_{\min}-2} C_{n-1}^i \right), \quad (1)$$

где $C_{n-1}^i = \frac{(n-1)!}{i!(n-1-i)!}$.

Для определения границы избыточности при $d_{\min} = 4$ воспользуемся следующим правилом: для достижения четного минимального кодового расстояния к коду с нечетным минимальным кодовым расстоянием, на единицу меньшим исходного, необходимо добавить еще один бит проверки на четность [5].

Результаты расчетов границы избыточности при разных значениях d_{\min} и n представлены в табл. 1. Как видно из полученных результатов, добавление одного проверочного элемента позволяет обнаружить один ошибочный символ ($d_{\min} = 2$). Примером такого кода является код с проверкой на четность единиц. Для обеспечения возможности обнаруживать две ошибки ($d_{\min} = 3$) необходимо два или три проверочных элемента. Однако при этом четырехразрядный и пятиразрядный коды позволяют передавать только два информационных элемента, что является недостаточным для рассматриваемой задачи. Добавление трех или четырех прове-

рочных элементов дает возможность обнаружить три ошибки ($d_{\min} = 4$). В этом случае четырех и пятиразрядные коды содержат только один информационный элемент, а шестиразрядный код – два информационных элемента, что также не позволяет получить шесть рабочих комбинаций. Таким образом, максимальную помехоустойчивость при необходимом числе информационных элементов позволяют получить коды с такими параметрами: 1) $n = 6, k = 3, d_{\min} = 3$; 2) $n = 7, k = 4, d_{\min} = 4$; 3) $n = 8, k = 4, d_{\min} = 4$.

Таблица 1

Минимальное число проверочных элементов для кодовых комбинаций различной длины

Минимальное кодовое расстояние	Число проверочных элементов				
	$n = 4$	$n = 5$	$n = 6$	$n = 7$	$n = 8$
$d_{\min} = 2$	1	1	1	1	1
$d_{\min} = 3$	2	3	3	3	3
$d_{\min} = 4$	3	4	4	4	4

К числу шестиразрядных кодов с $d_{\min} = 3$ относится код с повторением и инверсией, приведенный в табл. 2. При формировании такого кода подсчитывается число единиц в информационной части сообщения. Если это число четное, то проверочные элементы совпадают с информационными. Если число единиц нечетное, то в проверочной части кода записываются инверсные значения информационных элементов.

Таблица 2

Двоичные коды с минимальным кодовым расстоянием $d_{\min} = 3$

Номер рабочей комбинации	Код с повторением и инверсией	Код Хемминга
1	000 000	000000
2	001 110	010101
3	010 101	100110
4	011 011	110011
5	100 011	111000
6	101 101	101101
7	110 110	011110
8	111 000	001011

Шестиразрядный код Хемминга также имеет минимальное кодовое расстояние $d_{\min} = 3$ (см. табл. 2). В таком коде элементы в позиции 1 получаются при суммировании по модулю два элементов в позициях 3 и 5, в позиции 2 – суммированием элементов в позициях 3 и 6, а в позиции 4 – суммированием элементов в позициях 5 и 6. Код Хемминга и код с повторением и инверсией обеспечивают одинаковую помехоустойчивость и информационную избыточность. Однако при использовании кода Хемминга легче реализовать цикловую синхронизацию при передаче данных, так как циклический сдвиг любой рабочей комбинации не приводит к появлению другой рабочей комбинации. В то же время для кода с повторением и инверсией такие переходы

возможны. Например, выполнив циклический сдвиг, можно перейти от рабочей комбинации 2 к комбинациям 5 или 8 (см. табл. 2).

Семиразрядный код с минимальным кодовым расстоянием $d_{\min} = 4$ можно получить, добавив к коду Хемминга бит проверки на четность. Однако такой код не позволяет реализовать цикловую синхронизацию при передаче данных, так как циклический сдвиг одной рабочей комбинации может привести к появлению другой рабочей комбинации.

К числу восьмиразрядных кодов с $d_{\min} = 4$ относится код с повторением и инверсией, а также модифицированный код Бауэра, который применяется в системе автоматической локомотивной сигнализации АЛС-ЕН [6]. Такие коды позволяют получить шестнадцать рабочих комбинаций.

Таким образом, при формировании рабочих комбинаций в рельсовых цепях с кодовым разделением целесообразно использовать код Хемминга. При этом для упрощения выделения сигнала тактовой синхронизации нужно отказаться от первой кодовой комбинации, содержащей только нулевые элементы. Модифицированный код Бауэра целесообразно использовать в тех случаях, когда необходимо получить более восьми рабочих комбинаций.

В работе [7] показана целесообразность применения двухпозиционной фазоразностной манипуляции (ФРМн) для передачи сигнала КРЛ. Это обусловлено более высокой помехоустойчивостью такой манипуляции по сравнению с применяемой сейчас амплитудной манипуляцией, а также более узким спектром ФРМн сигнала по сравнению с частотно-манипулированным сигналом.

В системах передачи данных для демодуляции ФРМн сигналов широко применяются корреляционные методы [8, 9]. Рассмотрим два варианта демодуляции: посимвольный прием и прием сообщения в целом.

В первом случае в приемнике определяются взаимные корреляции между принимаемым сигналом и колебаниями-образцами (опорными сигналами), соответствующими двум возможным значениям передаваемых символов

$$Q_1(n) = \frac{2}{T} \int_{nT}^{(n+1)T} \xi(t) \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_{01}) dt, \quad (2)$$

$$Q_2(n) = \frac{2}{T} \int_{nT}^{(n+1)T} \xi(t) \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_{02}) dt, \quad (3)$$

где T – длительность одного символа, $\xi(t)$ – принятое колебание, ω_0 – несущая частота, φ_{01} и φ_{02} – начальные фазы опорных сигналов. Решение о значении каждого символа принимается путем сравнения взаимных корреляций Q_1 и Q_2 между собой. После этого полученная кодовая комбинация сопоставляется с эталонной комбинацией для данной рельсовой цепи.

При использовании цифровых методов обработки сигналов операция интегрирования в выражениях (2) и (3) заменяется операцией суммирования

$$Q_1 = \frac{2}{M} \sum_{N=0}^{M-1} \xi(NT_s) \cdot \cos(\omega_0 NT_s + \varphi_{01}), \quad (4)$$

$$Q_2 = \frac{2}{M} \sum_{N=0}^{M-1} \xi(NT_s) \cdot \cos(\omega_0 NT_s + \varphi_{02}), \quad (5)$$

где M – количество выборок на интервале, равном длительности одного символа, T_s – интервал дискретизации. На рис. 2 показан результат вычисления взаимных корреляций в отсутствие помех для четырехэлементного сообщения 1101.

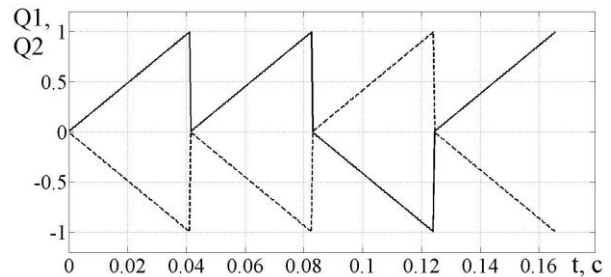


Рис. 2. Определение взаимных корреляций при посимвольном приеме сообщения 1101: Q_1 – сплошная линия; Q_2 – пунктир

В рельсовых цепях с кодовым разделением, в отличие от систем передачи данных, заранее известно, какую кодовую комбинацию необходимо обнаружить. Благодаря этому, можно выполнять прием сообщения в целом. При этом вычисляется взаимная корреляция принятого колебания и эталонного сигнала, соответствующего всей кодовой комбинации данной РЦ

$$Q = \frac{2}{nM} \sum_{N=0}^{nM-1} \xi(NT_s) \cdot s_0(NT_s), \quad (6)$$

где n – число символов в сообщении, $s_0(nT_s)$ – выборки эталонного сигнала. Обнаружение сигнала КРЛ выполняется путем сравнения полученной взаимной корреляции с некоторым пороговым значением h .

На рис. 3 показан результат вычисления взаимной корреляции при передаче четырехэлементного сообщения в отсутствие помех для трех случаев: 1) принято «свое» сообщение; 2) сообщение отличается от эталонного на один символ; 3) сообщение отличается от эталонного на два символа. Как видно из полученных зависимостей, при совпадении символов сумма в выражении (6) линейно возрастает, а при несовпадении – линейно убывает. Таким образом, итоговое значение взаимной корреляции зависит от длины сообщения (n) и числа ошибок (r)

$$Q = 1 - \frac{2r}{n}. \quad (7)$$

Например, при приеме шестиэлементного сообщения, в котором один символ отличается от эталонного, взаимная корреляция $Q = 0,67$. Это необ-

ходимо учитывать при выборе порогового уровня решающего устройства.

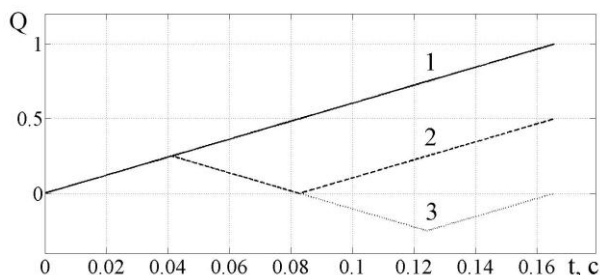


Рис. 3. Определение взаимных корреляций при приеме сообщения в целом: 1 – сообщение без ошибок; 2 – в сообщении одна ошибка; 3 – в сообщении две ошибки

Для исследования помехоустойчивости различных методов демодуляции сигнала КРЛ проводилось имитационное моделирование в среде Matlab. При этом использовался метод статистических испытаний [10]. На первом этапе исследовалась защищенность путевого приемника от сигналов соседних РЦ. В качестве «своего» был выбран сигнал КРЛ с такими параметрами: несущая частота – 480 Гц; частота манипуляции – 12 Гц; амплитуда – 1 В; тип манипуляции – фазоразностная; кодовая комбинация – 110011. Для моделирования влияния соседней РЦ использовался сигнал с теми же частотными параметрами и амплитудой, но другой кодовой комбинацией – 100110. Ложное срабатывание путевого приемника от «соседнего» кода (определение ложной свободности участка) может произойти, если несколько символов сообщения будут приняты с ошибками. Для моделирования возможных искажений кодовых комбинаций к сигналу «соседней» РЦ добавлялась широкополосная помеха в виде белого гауссовского шума. Демодуляция полученного сигнала выполнялась в соответствии с выражениями (4), (5) или (6). При посимвольном приеме в результате сравнения взаимных корреляций (4) и (5) определялось значение каждого символа, а затем полученные кодовые комбинации сравнивались с эталонной (комбинацией «своей» РЦ). После этого рассчитывался коэффициент ошибок первого рода

$$K_{\text{ош1}} = \frac{N_1}{N_{\text{общ}}}, \quad (8)$$

где N_1 – количество совпавших кодовых комбинаций (ложных срабатываний приемника), $N_{\text{общ}}$ – общее количество передаваемых кодовых циклов. В процессе моделирования использовались сигналы длиной 10000 циклов.

При приеме сообщения в целом взаимная корреляция (6) сравнивалась с пороговым значением h , подсчитывалось количество ложных срабатываний N_1 и рассчитывался коэффициент ошибок (8).

Полученные в результате моделирования зависимости коэффициента ошибок первого рода от мощности белого шума $P_{\text{ш}}$ представлены на рис. 4.

Как видно из результатов моделирования, посимвольный прием сообщений обеспечивает наилучшую защищенность от сигналов «соседних» РЦ. При приеме сообщения в целом, чем выше пороговый уровень h , тем ниже вероятность ложного срабатывания приемника.

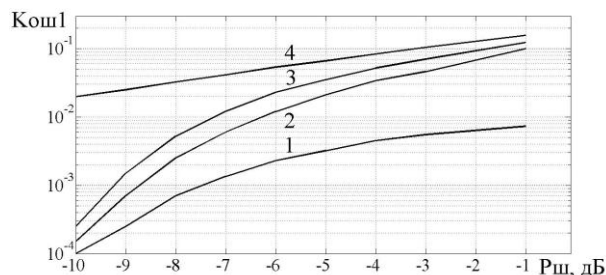


Рис. 4. Коэффициент ошибок первого рода при воздействии сигнала «соседней» рельсовой цепи и широкополосного шума: 1 – посимвольный прием; 2 – прием сообщения в целом, $h = 0,85$; 3 – прием сообщения в целом, $h = 0,75$; 4 – прием амплитудно-манипулированного сигнала

В существующих ТРЦ разделение сигналов рельсовых цепей параллельного пути выполняется по частоте манипуляции. Для этого в состав путевого приемника входит фильтр частоты манипуляции. Помехозащищенность такого приемника исследовалась с помощью имитационного моделирования в среде Matlab. Для этого на вход приемника подавалась аддитивная смесь белого гауссовского шума и амплитудно-манипулированного сигнала «соседней» РЦ с той же несущей, но другой частотой манипуляции. В процессе моделирования подсчитывалось количество ложных срабатываний приемника N_1 и рассчитывался коэффициент ошибок (8). Результаты представлены на рис. 4 (кривая 4). Как показывают полученные зависимости кодовые рельсовые цепи обладают лучшей помехозащищенностью по сравнению с традиционными ТРЦ, в которых применяется только частотное разделение.

Ложное срабатывание путевого приемника может произойти не только от сигналов смежных РЦ, но и от других помех, источниками которых являются тяговая сеть, подвижной состав, сигналы АЛС и др. С помощью имитационного моделирования проводились исследования помехоустойчивости разных методов демодуляции сигнала КРЛ при воздействии широкополосных помех. В качестве модели помех был выбран белый гауссовский шум. Полученные зависимости коэффициента ошибок первого рода от мощности шума $P_{\text{ш}}$ представлены на рис. 5. Результаты моделирования показали, что при небольшой мощности шума прием сообщений в целом обеспечивает лучшую помехоустойчивость, чем посимвольный прием. Причем, чем выше пороговый уровень, тем ниже вероятность ошибок. При посимвольном приеме белого гауссовского шума коэффициент ошибок практически не зависит от мощности помехи. Это объясняется тем, что значение каждого

символа определяется путем сравнения взаимных корреляций (4) и (5). При этом не учитывается их абсолютная величина. Повысить помехоустойчивость посимвольного приема можно, введя некоторый дополнительный пороговый уровень. Если в результате обработки полученного сигнала абсолютное значение взаимных корреляций не превысит пороговый уровень, то такой сигнал будет считаться помехой.

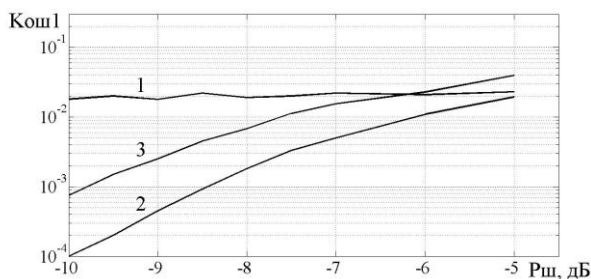


Рис. 5. Коэффициент ошибок первого рода при воздействии широкополосного шума: 1 – посимвольный прием; 2 – прием сообщения в целом, $h = 0,85$; 3 – прием сообщения в целом, $h = 0,75$

На следующем этапе моделирования исследовались ошибки второго рода: ложная занятость путевого участка. Для этого к сигналу «своей» РЦ добавлялась аддитивная широкополосная помеха в виде белого гауссовского шума при разных значениях отношения сигнал/шум ($P_c/P_{ш}$). После этого выполнялась демодуляция полученного сигнала и рассчитывался коэффициент ошибок второго рода

$$K_{ош2} = \frac{N_2}{N_{общ}}, \quad (9)$$

где N_2 – количество ошибок (пропусков «своего» кодового цикла), $N_{общ}$ – общее количество передаваемых кодовых циклов. Результаты моделирования представлены на рис. 6. Как видно из полученных зависимостей, посимвольный прием обеспечивает наименьшее количество ошибок при обнаружении «своего» сигнала. При приеме сообщения в целом, чем выше пороговый уровень h , тем выше коэффициент ошибок второго рода.

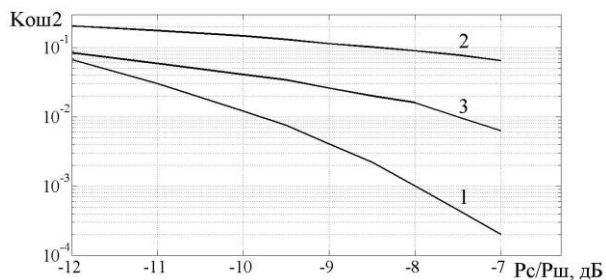


Рис. 6. Коэффициент ошибок второго рода при воздействии сигнала «своей» рельсовой цепи и широкополосного шума: 1 – посимвольный прием; 2 – прием сообщения в целом, $h = 0,85$; 3 – прием сообщения в целом, $h = 0,75$

Выводы. 1. Одно из направлений повышения помехоустойчивости тональных рельсовых цепей связано с использованием более совершенных форм сигнального тока. Добавление кодовых селективных признаков позволит повысить информационную избыточность и помехоустойчивость сигналов контроля рельсовой линии.

2. В тональных рельсовых цепях с кодовым разделением путевых участков целесообразно использовать код Хемминга, позволяющий обнаружить два ошибочных символа в сообщении. При этом для упрощения выделения сигнала тактовой синхронизации нужно исключить из числа рабочих кодовую комбинацию, содержащую только нулевые элементы.

3. Проведенное имитационное моделирование показало, что кодовые рельсовые цепи обладают более высокой помехоустойчивостью по сравнению с традиционными ТРЦ, в которых применяются только частотные селективные признаки.

4. Посимвольный корреляционный прием сообщений обеспечивает лучшую защищенность от сигналов «соседних» РЦ, а также позволяет получить меньшее количество ошибок при обнаружении «своего» сигнала по сравнению с корреляционным приемом сообщения в целом. Повысить защищенность посимвольного метода приема от широкополосных помех можно, введя дополнительный пороговый уровень. При этом сравнение рассчитанных взаимных корреляций между собой должно проводиться только в том случае, если абсолютное значение хотя бы одной из них превышает пороговый уровень.

Л и т е р а т у р а

- Кулик П.Д. Тональные рельсовые цепи в системах ЖАТ: построение, регулировка, обслуживание, поиск и устранение неисправностей, повышение эксплуатационной надежности / П.Д. Кулик, Н.С. Ивакин, А.А. Удовиков. – К.: Изд. дом «Мануфактура», 2004. – 288 с.
- Федоров Н.Е. Современные системы автоблокировки с тональными рельсовыми цепями / Н.Е. Федоров. – Самара: СамГАПС, 2004. – 132 с.
- Лисенков В.М. Методы повышения безопасности функционирования рельсовых цепей / В.М. Лисенков, А.Е. Ваньшин, М.В. Катков // Автоматика, связь, информатика. – 2010. – № 4. – С. 8-10.
- Блачев К.Э. Устройство контроля состояния участка пути повышенной помехоустойчивости для системы управления движением поездов: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.13.05 / К.Э. Блачев; Самарский государственный университет путей сообщения. – Самара, 2009. – 20 с.
- Липкин И.А. Статистическая радиотехника. Теория информации и кодирования / И.А. Липкин. – М.: Вузовская книга, 2002. – 216 с.
- Системы железнодорожной автоматики и телемеханики / Ю.А. Кравцов, В.Л. Нестеров, Г.Ф. Лекута и др.; под общ. ред. Ю.А. Кравцова. – М.: Транспорт, 1996. – 400 с.
- Гончаров К.В. Сравнительный анализ методов модуляции и демодуляции сигналов контроля рельсовой

линии / К.В. Гончаров // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вип. 42. – С. 136-141.

8. Теория электрической связи / Под ред. К.К. Васильева. – Ульяновск: УЛГТУ, 2008. – 452 с.
9. Smith S.W. Digital signal processing. California Technical Publ., 1999. 650 p.
10. Ермаков С.М. Курс статистического моделирования / С.М. Ермаков, Г.А. Михайлов. – М.: Наука, 1976. – 320 с.

References

1. Lisenkov V.M. Metody povysheniya bezopasnosti funkcionirovaniya rel'sovyh cepej / V.M. Lisenkov, A.E. Van'shin, M.V. Katkov // Avtomatika, svjaz', informatika. – 2010. – № 4. – P. 8-10.
2. Kulik P.D. Tonal'nye rel'sovye cepi v sistemah ZhAT: postroenie, regulirovka, obsluzhivanie, poisk i ustranenie neispravnostej, povyshenie jekspluatacionnoj nadezhnosti / P.D. Kulik, N.S. Ivakin, A.A. Udovikov. – К.: Izd. dom «Manufaktura», 2004. – 288 p.
3. Fedorov N.E. Sovremennye sistemy avtoblokirovki s tonal'nymi rel'sovymi cepjami / N.E. Fedorov. – Samara: SamGAPS, 2004. – 132 p.
4. Blachev K.Je. Ustrojstvo kontrolja sostojanija uchastka puti povyshennoj pomehoustojchivosti dlja sistemy upravlenija dvizheniem poezdov: avtoref. dis. na soiskanie uchenoj stepeni kand. tehn. nauk: 05.13.05 / K.Je. Blachev; Samarskij gosudarstvennyj universitet putej soobshhenija. – Samara, 2009. – 20 p.
5. Lipkin I.A. Statisticheskaja radiotekhnika. Teorija informacii i kodirovaniya / I.A. Lipkin. – М.: Vuzovskaja kniga, 2002. – 216 p.
6. Sistemy zheleznodorozhnoj avtomatiki i telemehaniki / Ju.A. Kravcov, V.L. Nesterov, G.F. Lekuta i dr.; pod obshh. red. Ju.A. Kravcova. – М.: Transport, 1996. – 400 p.
7. Honcharov K.V. Sravnitel'nyj analiz metodov moduljacji i demoduljacji signalov kontrolja rel'sovoj linii / K.V. Honcharov // Visnik Dnipropetrovs'kogo nacional'nogo universitetu zaliznichnogo transportu im. akad. V. Lazarjana. – Д., 2012. – Vip. 42. – P. 136-141.
8. Teorija jelektricheskoj svjazi / Pod red. K.K. Vasil'eva. – Ul'janovsk: UIGTU, 2008. – 452 p.
9. Smith S.W. Digital signal processing. California Technical Publ., 1999. 650 p.
10. Ermakov S.M. Kurs statisticheskogo modelirovaniya / S.M. Ermakov, G.A. Mihajlov. – М.: Nauka, 1976. – 320 p.

Гончаров К.В. Дослідження тональних рейкових кіл з кодовим розділенням колійних ділянок

В роботі наведені результати дослідження тональних рейкових кіл з додатковим кодуванням. Показано, що перехід від періодичних сигналів модуляції до кодових сигналів дозволить підвищити завадостійкість рейкового кола за рахунок збільшення кількості селективних ознак сигнального струму. Для формування робочих комбінацій був обраний шести розрядний код Хеммінга, який дозволяє виявити два помилкових символи у повідомленні. Проведене імітаційне моделювання показало, що символічний кореляційний прийом повідомлень забезпечує кращу завадостійкість у порівнянні з кореляційним прийомом повідомлення в цілому.

Ключові слова: тональне рейкове коло, завадостійкість, кодування, кореляційний прийом

Honcharov K.V. Investigation of the tonal rail circuits with code division of track sections

One of the reasons for failures in the rail circuits is the influence of interference from traction current, adjacent rail circuits, automatic locomotive signaling and other sources. In this paper to improve the interference immunity of tonal rail circuits is proposed to use not periodic and coded modulation signals. This will increase number the selective features of signal current, and will allow realize additional code division adjacent rail circuits. It is shown that to construct the code rail circuits need at least six working combinations. To produce such combinations six-digit Hamming code that allows detecting the wrong two characters in the message has been selected. Carried simulations showed that the code rail circuits have better interference immunity compared with the traditional tonal rail circuits that use only the frequency selective features. It was also found that the correlation receiving of messages on characters provides better protection from the signals of adjacent rail circuits and also allows getting fewer errors when detecting a signal compared with the correlation receiving of messages in general.

Keywords: tonal rail circuits, interference immunity, coding, correlation receiving

Гончаров К.В. – к.т.н., доцент кафедри «Автоматика, телемеханіка та зв'язок», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Україна, e-mail: goncharov_k@inbox.ru

Рецензент: Муха А.М., д.т.н., доцент

Стаття подана xx.02.2013